

年度工作考核报告

探测器三组

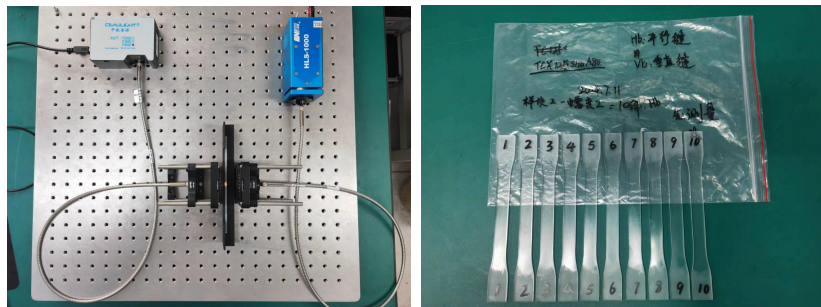
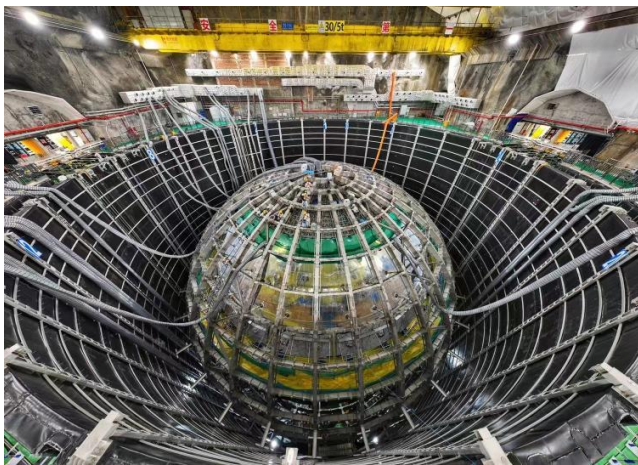
杨晓宇

岗位职责

- (1) 负责JUNO CD有机玻璃内应力定量检测系统的研发
- (2) 负责JUNO CD有机玻璃内应力性质研究
- (3) 负责济南研究部内应力检测设备工程化项目研发
- (4) 负责JUNO CD有机玻璃透光率性能研究
- (5) 负责JUNO 20英寸PMT反射率定量检测系统的研发
- (6) 执行组内PMT性能测试与研究
- (7) 课题项目承担及参与情况
- (8) 研究成果、职业素质、公共服务、存在问题
- (9) 下年度工作计划

(1) 负责JUNO CD有机玻璃内应力定量检测系统的研发

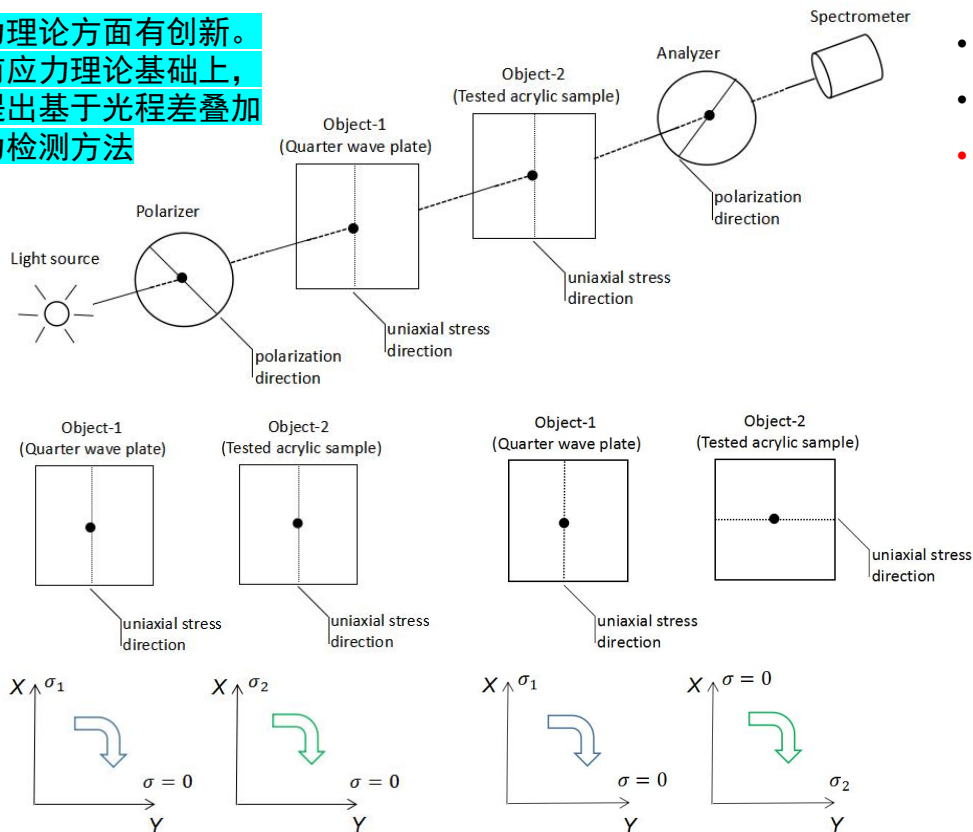
- 有机玻璃内应力直接影响JUNO CD结构安全与长期性能，内应力定量检测是JUNO极为关注的工程技术难题
- JUNO提出自然光环境下、无损、定量、移动式现场检测的需求，充满难度与挑战
- 尚无同时满足JUNO内应力检测需求的商用仪器和设备
- 负责有机玻璃内应力定量检测系统的自主研发，应用在JUNO CD整个安装周期内，作为现场安装重要跟踪手段
- 为满足JUNO CD蠕变试件粘接缝内应力检测需求，研发并实现另一套内应力定量检测系统，基于光程差叠加原理和光谱测量法
- 对JUNO CD不同批次蠕变试件粘接缝内应力进行定量检测，作为JUNO有机玻璃长期力学性能研究的重要环节，检测数量累积达到200余件
- 该系统为JUNO CD有机玻璃内应力性质研究提供技术支撑



经专家评审，有机玻璃内应力检测装置连续三年（2022、2023及2024年度）入选《中国科学院自主研制科学仪器》产品名录

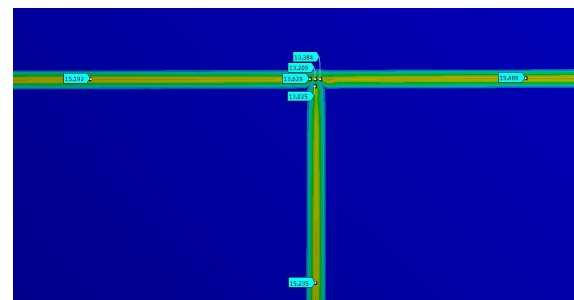
(2) 负责JUNO CD有机玻璃内应力性质研究

在应力理论方面有创新。
在原有应力理论上，
完整提出基于光程差叠加
内应力检测方法



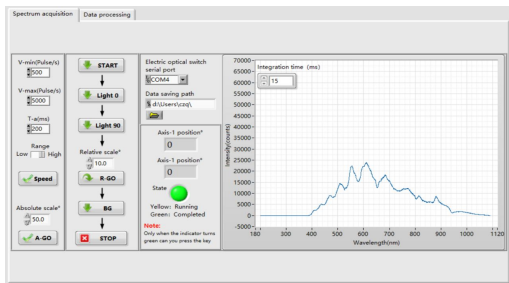
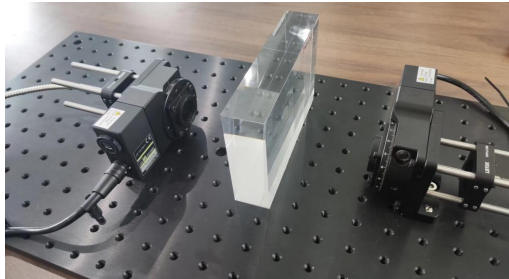
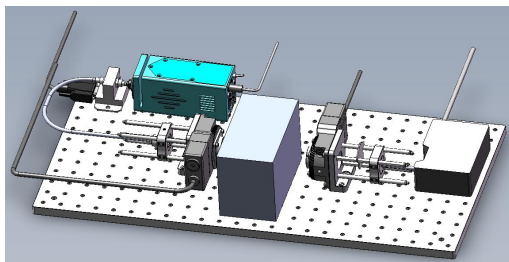
光程差叠加检测方法

- 针对JUNO CD有机玻璃内应力性质展开实验研究
- 重点关注JUNO CD粘接缝内应力方向及拉压性质
- **实验结果首次揭示，JUNO CD粘接缝（横缝与竖缝）内应力方向为沿着粘接缝方向，内应力为拉应力；而T缝所在位置，存在双向正交内应力，就损伤概率而言，T缝所在位置为横缝/竖缝的两倍**



- 该项工作对于JUNO CD至关重要，包括粘接缝内应力认知与粘接缝保护措施探究两个方面
- 在JUNO指挥部会议上做过专门汇报

(3) 负责济南研究部内应力检测设备工程化项目研发



应力检测设备功能研发



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences



济南中科核技术研究院
Jinan Laboratory of Applied Nuclear Science

- 作为**项目负责人**，研发工作获得济南研究部工程化项目支持，**100万**，定位专用科学仪器，目前致力于市场推广
- 作为**第一发明人**，本年度申请2项专利（1项发明专利，1项实用新型专利），实用新型专利本年度得到**授权**
- 作为**第一作者**，发表《The novel equipment for measuring internal stress in acrylic》，**JINST**, 2024. 5
- 本年度再次入选《**中国科学院自主研制科学仪器**》产品名录



本项目研发设备

(3) 负责济南研究部内应力检测设备工程化项目研发



| | PSV-413 国产 | LSM-9100W 进口 | WPA 进口 | 本项目 研发设备 |
|----------------|---------------|-----------------|-----------|-------------------|
| 应力光学系数可否标定? | × | × | × | ✓ |
| 可否给出最终应力数值? | × | × | × | ✓ |
| 应力检测精度 | × | × | × | 优于5% |
| 光源形式 | 单波长 | 3种波长 | 单波长 | 宽波长 480-620 nm |
| 光程差检测范围 (nm) | 50-280 | 50-3000 | 50-130 | 30-12000 |
| 光程差检测重复精度 (nm) | < 3 | < 3 | < 1 | < 1 |
| 单轴应力方向能否识别? | × | × | × | ✓ |

竞品比较



本项目研发设备

核心指标——光程差检测范围处于绝对领先！

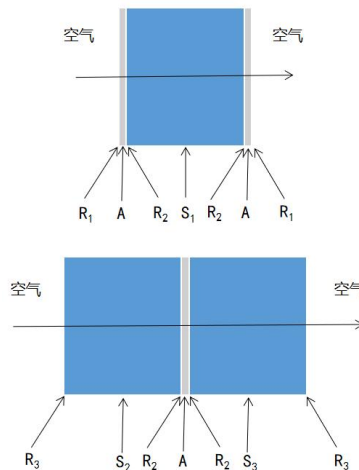
(4) 负责JUNO CD有机玻璃透光率性能研究

- JUNO CD粘接缝存在超预期内应力水平，需考虑保护措施
- JUNO CD考虑粘接缝表面涂抹环氧/贴保护膜两种方式可以起到结构保护作用，但会影响CD透光率性能
- 针对这一问题，提出光学性质研究方法并搭建透光率测试系统，研究分析涂抹环氧/贴保护膜对透光率的影响

- 作为**第一作者**，发表

《Research on the optical properties and effect of the transparent epoxy for the JUNO Central Detector》，**NIM A**, 2024.7

- 作为**第一发明人**，本年度申请1项发明专利，《一种胶水折射率与吸收率检测方法及其检测系统》



| | |
|---|------|
| ■ | 环氧 |
| ■ | 有机玻璃 |

R_1 : 环氧空气界面反射率
 A : 涂抹厚度环氧吸收率
 R_2 : 环氧有机玻璃界面反射率
 S_1 : 试件1吸收率
 R_3 : 空气有机玻璃界面反射率
 S_2 : 试件2吸收率
 S_3 : 试件3吸收率
 T_1 : 双面涂抹整体透光率
 T_2 : 中间涂抹整体透光率

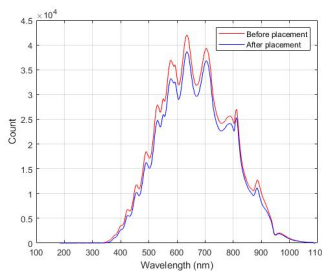
$$\begin{cases} 2R_1 + 2R_2 + 2A + S_1 = 1 - T_1 & \text{①} \\ 2R_3 + 2R_2 + A + S_2 + S_3 = 1 - T_2 & \text{②} \end{cases}$$

② × 2 - ① 可以得到

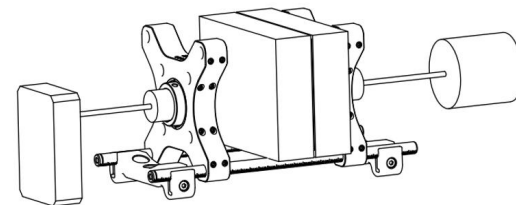
$$R_2 - R_1 = [2(1 - T_2) - (1 - T_1) - 4R_3 - 2S_2 - 2S_3 + S_1] / 2$$

$$R_2 = \left(\frac{n_{\text{环氧}} - n_{\text{有机玻璃}}}{n_{\text{环氧}} + n_{\text{有机玻璃}}} \right)^2 \quad R_1 = \left(\frac{n_{\text{环氧}} - n_{\text{空气}}}{n_{\text{环氧}} + n_{\text{空气}}} \right)^2$$

环氧折射率测试原理



透光率测试系统



(4) 负责JUNO CD有机玻璃透光率性能研究



Refractive index of LS = 1.4
 Refractive index of acrylic = 1.493
 Reflectivity between LS and acrylic = 0.1%



Refractive index of LS = 1.4
 Refractive index of epoxy = 1.4385
 Refractive index of acrylic = 1.493
 Reflectivity between LS and epoxy = 0.018%
 Reflectivity between epoxy and acrylic = 0.035%
 Absorbance of epoxy = 2.64%
 Reflectivity between LS and acrylic = 0.1%

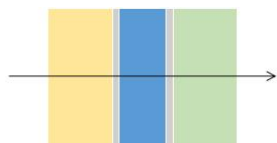
Legend for top diagrams:

- Yellow: LS
- Grey: epoxy
- Blue: acrylic
- Green: water

The decrease of transmittance:
 $0.018\% + 0.035\% + 2.64\% - 0.1\% \approx 2.60\%$



Refractive index of LS = 1.4
 Refractive index of acrylic = 1.493
 Reflectivity between LS and acrylic = 0.1%
 Reflectivity between acrylic and water = 0.32%



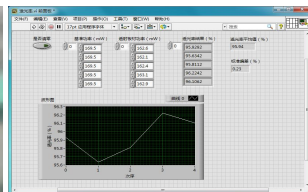
Refractive index of LS = 1.4
 Refractive index of epoxy = 1.4385
 Refractive index of acrylic = 1.493
 Refractive index of water = 1.333
 Reflectivity between LS and epoxy = 0.018%
 Reflectivity between epoxy and acrylic = 0.035%
 Reflectivity between acrylic and epoxy = 0.035%
 Reflectivity between epoxy and water = 0.14%
 Absorbance of epoxy = 2.64%*2
 Reflectivity between LS and acrylic = 0.1%
 Reflectivity between acrylic and water = 0.32%

Legend for bottom diagrams:

- Yellow: LS
- Grey: epoxy
- Blue: acrylic
- Green: water

The decrease of transmittance:
 $0.018\% + 0.035\% * 2 + 0.14\% + 2.64\% * 2 - 0.1\% - 0.32\% \approx 5.10\%$

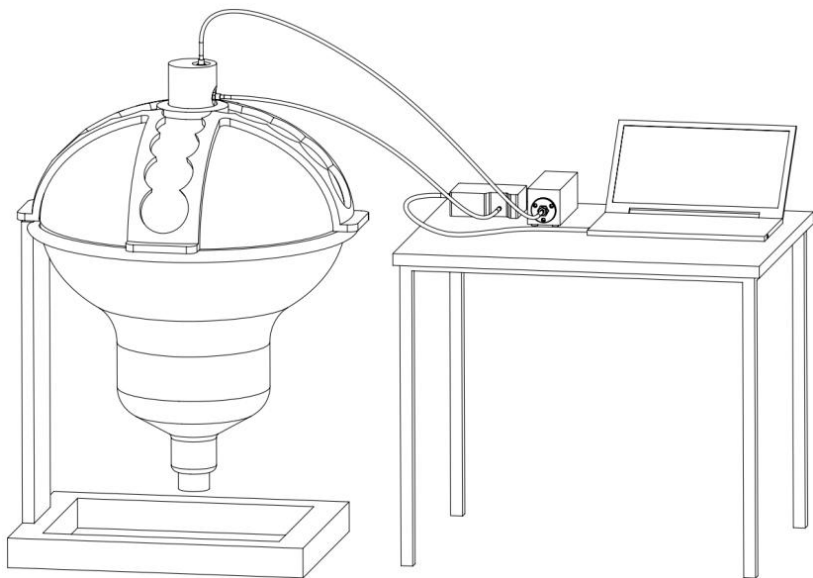
定量结果表明，CD粘接缝使用环氧，无论是单面涂抹，还是双面涂抹，对JUNO CD整体透光率的影响都十分有限



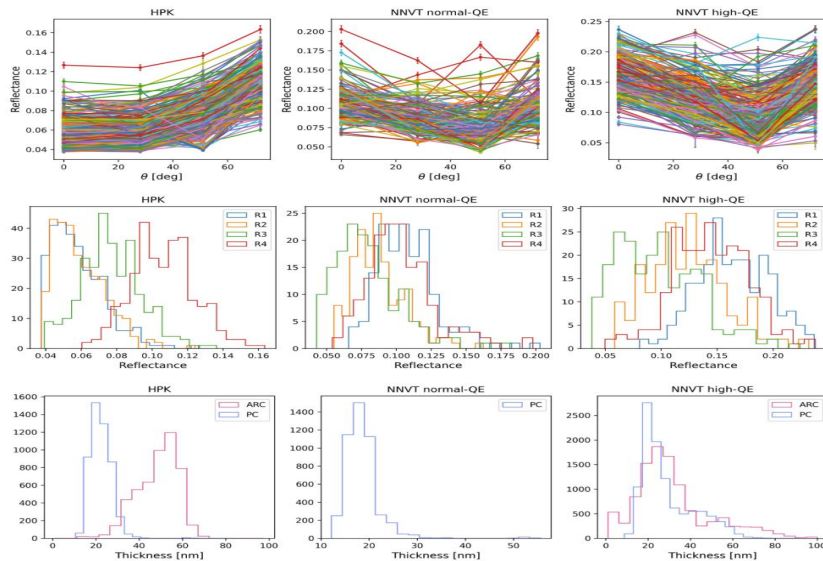
经专家评审，有机玻璃透光率检测装置连续两年（2023、2024年度）入选《中国科学院自主研制科学仪器》产品名录

(5) 负责JUNO 20英寸PMT反射率定量检测系统的研发

- PMT反射率影响接收光子数，最终影响JUNO能量分辨率，具有重要研究价值
- 负责PMT反射率定量检测系统研发并实现，应用在中山泛亚已完成批量测试
- 完成基于反射率数据的PMT光学模型修正，正开展JUNO探测器软件模拟工作



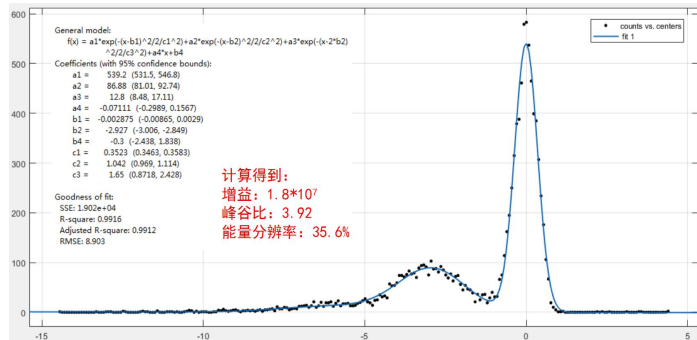
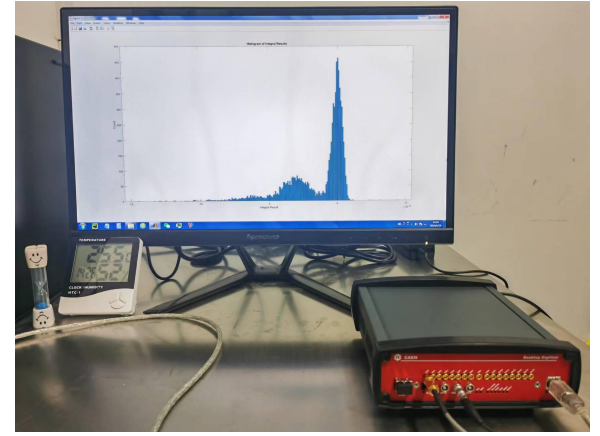
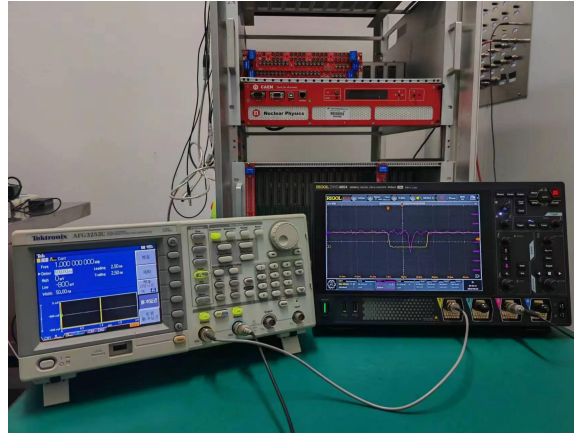
JUNO 20英寸PMT反射率无损定量检测系统



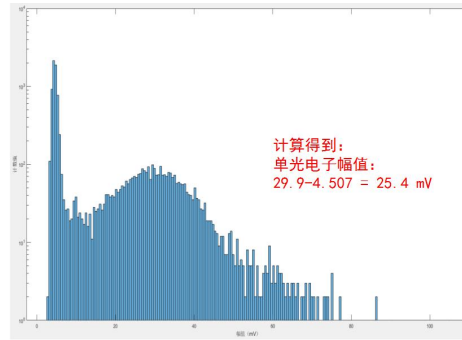
PMT反射率统计结果（中微子组提供）

- 作为**项目负责人**，研究工作获得本年度国重实验室资助项目支持，**10万**
- 作为**第一发明人**，本年度申请2项发明专利

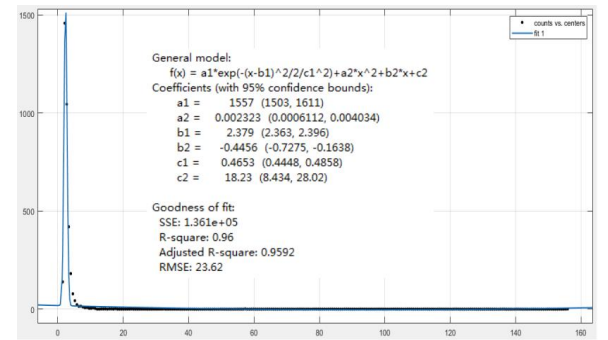
(6) 执行组内PMT性能测试与研究



R7725 单光电子电荷谱测试



R7725 单光电子幅度谱测试



R7725 单光电子上升时间测试

(7) 课题项目承担及参与情况

- 《有机玻璃内应力无损定量检测设备研发项目》，济南研究部工程化项目支持，**100万**，**项目负责人**
- 《光电倍增管表面反射率测量及相关物理研究》，国重实验室资助项目支持，**10万**，**项目负责人**

(8) 研究成果、职业素质、公共服务、存在问题

• 文章方面：

- (1) **第一作者**, 《Research on the optical properties and effect of the transparent epoxy for the JUNO Central Detector》, **NIM A**, **已发表**, 2024. 7
- (2) **第一作者**, 《The novel equipment for measuring internal stress in acrylic》, **JINST**, **已发表**, 2024. 5
- (3) **合作组文章**, 《The Design and Technology Development of the JUNO Central Detector》, **EPJP**, **已接收**, 2024. 11

• 专利方面：

- (1) **第一发明人**, 《一种透明样件透光率及内应力联合检测装置》（实用新型专利）, **已授权**, 2024. 2
- (2) **第一发明人**, 《一种有机玻璃内应力方向检测方法》（发明专利）, 审核中
- (3) **第一发明人**, 《一种材料规则反射比检测装置及方法》（发明专利）, 审核中
- (4) **第一发明人**, 《光电倍增管表面反射率检测方法及检测系统》（发明专利）, 审核中
- (5) **第一发明人**, 《光电倍增管表面反射率无损定量检测系统及检测方法》（发明专利）, 审核中
- (6) **第一发明人**, 《一种胶水折射率与吸收率检测方法及检测系统》（发明专利）, 审核中

(8) 研究成果、职业素质、公共服务、存在问题

• 职业素质：

- (1) 工作主动性和创造性——为JUNO研发多项检测系统，从无到有，自主创新
- (2) 合作精神——与济南研究部合作，与中微子组合作

• 公共服务：

- (1) 担任中心第一党支部支委成员，协助完成支部相关工作
- (2) 担任中心团总支宣传委员，协助完成团总支相关工作
- (3) 担任中心工会探三组联络人，为大家服务

• 存在问题：

- (1) 探测器原理及方法需尽快掌握和提高，投入到新的研究课题
- (2) 应力检测设备工程化项目市场推广面临挑战

(9) 下年度工作计划

- (1) 完成JUNO CD相关任务
- (2) 完成济南研究部工程化项目工作
- (3) 完成组内探测器相关研究工作
- (4) 完成文章及专利后续工作
- (5) 完成中心和部门其他任务

感谢聆听与意见！